

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1939

THÈSE

N° 819

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

Diplôme d'État

PAR

GIRAULD ANDRÉ

EXTERNE DES HÔPITAUX DE PARIS

Né le 4 Janvier 1915 à Paris

LE DANGER OXYCARBONÉ
EN TEMPS DE GUERRE

Président : M. L. TANON, Professeur.

CROUTZET ET DEPOST
70, Rue de Bondy, PARIS
1939

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1939

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

Diplôme d'État

PAR

GIRAULD ANDRÉ

EXTERNE DES HÔPITAUX DE PARIS

Né le 4 Janvier 1915 à Paris

LE DANGER OXYCARBONÉ EN TEMPS DE GUERRE

Président : M. L. TANON, Professeur.

CROUTZET ET DEPOST
70, Rue de Bondy, PARIS
1939

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	ROUVIÈRE.
Physiologie	Léon BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	POLONOVSKI.
Bactériologie	Robert DEBRÉ.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	BAUDOUIN.
Pathologie médicale	ABRAMI.
Pathologie chirurgicale	MONDOR.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	HARVIER.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LAIGNEL-LAVASTINE
Pathologie expérimentale et comparée	FISSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	CHIRAY.
	LOEPER.
Clinique médicale	CARNOT.
	CLERC.
	Marcel LABBÉ.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBOULLET.
Clinique des maladies des enfants	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	CUNÉO.
Clinique chirurgicale	GOSSET.
	GRÉGOIRE.
	LENORMANT.
Clinique ophtalmologique	TERRIEN.
Clinique urologique	CHEVASSU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements	JEANNIN.
	LÉVY-SOLAL.
Clinique gynécologique	MOCQUOT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBRÉDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	M. VILLARET.
Clinique de la tuberculose	TROISIER.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU.
Clinique de cardiologie	LAUBRY.
Clinique de neuro-chirurgie	Clovis VINCENT
Assistance médico-sociale	N...
	HAZARD.
	HOLEVACQUE.
Professeurs sans chaire	MULON.
	OLIVIER.
	SANNIÉ.
	VERNE.



II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.
 AMELINE Pathologie chirurgicale.
 BARIÉTY Pathologie médicale.
 BÉNARD (Henri) Pathologie médicale.
 BERNARD (Étienne). Pathologie médicale.
 BESANÇON (Justin). Hydrologie.
 BOULIN Pathologie médicale.
 BULLIARD Histologie.
 CATHALA Pathologie médicale.
 CHEVALLIER .. Pathologie médicale.
 COSTE Pathologie médicale.
 DOGNON Physique.
 FEY Urologie.
 FUNCK Pathologie chirurgicale.
 GALLIARD Parasitologie.
 GASTINEL Bactériologie.
 DE GAUDART D'ALLAINES .. Pathologie.
 chirurgicale.
 GAYET Physiologie.
 DE GENNES ... Pathologie médicale.
 GIROUD Histologie.
 HAGUENAU .. Pathologie médicale.
 HALPHEN Oto-rhino-laryngologie.
 HUGUENIN ... Anatomie pathologique.
 JOANNON Hygiène.

MM.
 LACOMME ... Obstétrique.
 LANTUÉJOL .. Obstétrique.
 LAROCHE (Guy) Pathologie médicale.
 LAVIER Parasitologie.
 LELONG Pathologie médicale.
 LEMAIRE Pathologie expérimentale.
 LEVEUF Pathologie chirurgicale.
 M^{lle} J. LÉVY .. Pharmacologie.
 LÉVY-VALENSI. Neurologie et Psychiatrie.
 MÉNÉGAUX .. Pathologie chirurgicale.
 MOLLARET ... Pathologie médicale.
 MOREAU Pathologie médicale.
 MOULONGUET Pathologie chirurgicale.
 MOUQUIN ... Pathologie médicale.
 PETIT-DUTAILLIS .. Pathologie chirurgi-
 cale.
 PIÉDELIEVRE .. Médecine légale.
 PORTES Obstétrique.
 RENARD Ophtalmologie.
 RICHEL Physiologie.
 SÉNÈQUE Pathologie chirurgicale.
 TURPIN Pathologie médicale.
 VIGNES Obstétrique.
 WILMOTH Pathologie chirurgicale.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.
 ALCLAVE Pathologie chirurgicale.
 BUSQUET Pharmacologie.
 CHAILLEY-BERT .. Physiologie.
 CUÉNIOT Obstétrique.
 HEITZ-BOYER . Pathologie chirurgicale.

MM.
 LARDENNOIS . Pathologie chirurgicale.
 LE LORIER ... Obstétrique.
 NEVEU - LEMAIRE .. Parasitologie.
 SCHWARTZ ... Pathologie chirurgicale.
 VAUDESCAL ... Obstétrique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent

MM.		MM.	
ALAJOUANINE	} Clinique médicale.	BASSET	} Clinique chirurgicale.
AUBERTIN ..		BROCQ	
BRULÉ		CADENAT ...	
CHABROL ...		GATELLIER ..	
DONZELOT ..		MOURE	
DUVOIR		QUENU	
LIAN		VELTER	
Pasteur-Vallery- Radot			
SÉZARY			
MM.			
ECALLE	} Clinique obstétricale.		
METZGER ...			

V. — CHARGÉS DE COURS

MM.	
CHAILLEY-BERT, agrégé	Éducation physique.
LEDoux-LEBARD	Radiologie clinique.
RUPPE	Stomatologie.
WEIL-HALLÉ	Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans des dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MÉMOIRE
DE MON FRÈRE
PIERRE GIRAULD

Externe des Hôpitaux de Paris

Mort le 12 Décembre 1938 des suites d'une maladie
contractée dans l'exercice de ses fonctions.

A MON PÈRE

LE DOCTEUR GIRAULD

Directeur du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris
Officier de la Légion d'Honneur
Officier de la Santé Publique

A MA MÈRE

A MON ONCLE

LE DOCTEUR CHOMPRET

Stomatologiste Honoraire des Hôpitaux de Paris
Président d'Honneur de l'Association Stomatologique Internationale
Officier de la Légion d'Honneur
qui a toujours été pour moi un second père

A MONSIEUR LE DOCTEUR BOUYSSY

Chef-adjoint du Laboratoire d'Hygiène
Adjoint à l'Inspecteur Général des Services Techniques d'Hygiène
de la Ville de Paris
pour l'affection qu'il m'a toujours témoignée et l'aide qu'il m'a
apportée dans l'élaboration de cette thèse

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR TANON

Professeur d'Hygiène et de Médecine préventive
à la Faculté de Médecine de Paris

Membre de l'Académie de Médecine

Membre du Conseil Supérieur d'Hygiène

Inspecteur Général des Services Techniques d'Hygiène
de la Préfecture de Police

Officier de la Légion d'Honneur

Commandeur de la Santé Publique

qui a bien voulu nous faire l'honneur d'accepter la présidence
de cette thèse

A MES MAÎTRES DANS LES HOPITAUX DE PARIS

Stage

1935-1936 — MONSIEUR LE PROFESSEUR BEZANÇON.

- MONSIEUR LE PROFESSEUR GREGOIRE

Externat

1936-1937 — MONSIEUR LE PROFESSEUR CUNÉO

- MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ SENÈQUE.

1937-1938 — MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ ETIENNE
- CHABROL.

1938-1939 — MONSIEUR LE DOCTEUR GRENET.

1939-1940 — M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ DE GENNES.

*Témoignage modeste de ma profonde
admiration et de ma grande reconnais-
sance.*

INTRODUCTION

S'il est un point susceptible de retenir l'attention de tous dans les circonstances actuelles, c'est bien l'utilisation des gaz de combat.

La guerre chimique, comme la guerre bactériologique, sont l'objet d'une préoccupation unanime. Militaires et civils, combattants et non combattants, tous ont conscience de cette menace qui pèse sur le territoire tout entier, chacun sent que les protocoles de Genève de 1925, après les actes de La Haye de 1899, d'après lesquels les nations européennes s'interdisaient l'emploi de projectiles « qui ont pour but unique de répandre les gaz asphyxiants et délétères » sont destinés à rester lettre morte.

Le Maréchal Foch n'a-t-il pas écrit : « Quand un peuple met tout son enjeu dans une guerre, il lui est bien difficile de ne pas se servir de toutes les armes, même celles qui sont interdites, lorsqu'il a l'espoir, en les employant, de remporter la victoire. » Puis : « La guerre chimique doit entrer dans nos prévisions et nos préparatifs d'avenir, si nous ne voulons subir quelques redoutables surprises. »

L'exemple de la guerre de 1914-1918 est encore trop présent à la mémoire pour qu'on ne puisse entrevoir l'extension susceptible d'être apportée à la guerre des gaz. Outre le développement donné à l'artillerie et aux armes motorisées, l'avion est devenu une arme de guerre d'une puissance incomparable et l'on peut dire qu'aucun point n'est plus à l'abri de ses atteintes ; il n'y a plus de distinction entre l'avant et l'arrière et la nation tout entière — a-t-on dit — « est dans la ligne de feu ». L'avion et les gaz, voilà les instruments desquels on attend la victoire.

L'emploi des gaz de combat est au premier rang du danger aérochimique.

On peut classer ces gaz en :

GAZ PERSISTANTS : type ypérite qui projetée à l'état liquide, se volatilise lentement et produit un effet vésicant ; — chloropicrine.

Et en GAZ FUGACES, de dispersion rapide :

soit *suffocants* (chlore, phosgène) provoquant l'asphyxie par œdème pulmonaire ;

lacrymogènes (bromure de benzyle) qui donne une vive irritation oculaire ;

sternutatoires (arsines) ;

ou *toxiques généraux* (oxyde de carbone et acide cyanhydrique).

C'est de l'OXYDE DE CARBONE, de ses effets, de son utilisation possible, de la protection à lui opposer, que nous nous efforcerons de faire l'objet du présent travail.

On en connaît le rôle prépondérant en matière d'asphyxies du temps de paix.

Nous verrons, au cours de ce travail, que deux aspects du danger oxycarboné doivent être envisagés en temps de guerre.

C'est l'abord l'utilisation éventuelle de ce gaz comme moyen direct de lutte.

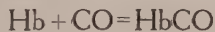
Mais c'est aussi et peut-être davantage le fait qu'il est un produit constant de la déflagration des poudres, véritable « gaz d'explosion ».

GÉNÉRALITÉS

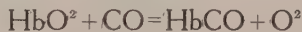
Nous serons très brefs et nous bornerons à rappeler que CO est un gaz incolore, inodore, densité = 0,967 à +15°, donc inférieure à celle de l'air, mais si voisine que dans l'ensemble, on puisse prévoir qu'il se diluera rapidement dans l'atmosphère, de façon à peu près homogène, à moins toutefois qu'il ne se produise des courants gazeux pouvant aboutir à une hétérogénéité. Il est peu soluble dans l'eau, dans le plasma sanguin, dans le sang lui-même.

PHYSIO-PATHOLOGIE

Les travaux de Claude Bernard, Grehant, Hufner, Haldane, et surtout les recherches magistrales de Nicloux sur « les lois d'absorption d'oxyde de carbone par le sang » *« in vitro »* et *« in vivo »*, ont montré que l'action de CO sur l'hémoglobine se traduit en définitive par une réaction reversible



non seulement CO se fixe sur l'hémoglobine, mais plus encore, il déplace l'O de l'oxyhémoglobine et comme inversement l'O déplace CO de la carboxyhémoglobine, les actions réciproques sont traduites par l'équation reversible fondamentale



il s'établira par suite entre les masses réagissantes un équilibre conformément à la loi d'action de masse de Guildberg et Waage.

PATHOGÉNIE

Par opposition à la théorie toxique chère à l'école allemande, nous rallions à la théorie asphyxique de l'école française orientée vers les recherches physiologiques.

Après Grehant, Balthazard et Nicloux sont arrivés à la conclusion suivante :

« CO n'est pas un gaz toxique ; il agit sur l'organisme en se fixant sur l'hémoglobine, dont il supprime la fonction de vecteur d'O, diminuant ainsi l'apport en O mis à la disposition des tissus. La mort survient par le mécanisme de l'asphyxie progressive et est le résultat d'un processus pathogénique : l'anoxhémie, commun à toutes les asphyxies. »

ETUDE CLINIQUE

La symptomatologie est différente selon l'intensité de l'asphyxie produite, massive ou simplement progressive. Ces modalités cliniques sont d'ailleurs directement subordonnées à la teneur de l'atmosphère en oxyde de carbone.

Et nous rappellerons dès l'abord que la teneur asphyxique commence avec une proportion de 1/500,

qu'une teneur de 1/5.000 constitue une véritable teneur d'alarme, avec laquelle commencent les accidents, et la mort peut en être l'aboutissant si l'action se prolonge plus de deux heures.

Les teneurs inférieures, les teneurs de la valeur du 1/100.000 sont à la limite des teneurs toxiques, elles n'entraînent à peu près aucun trouble, du moins immédiat et n'intéressent pas la pratique de guerre.

C'est dans ces cas que le facteur toxique pourrait être invoqué comme déterminant les troubles de l'oxycarbonisme, car le facteur asphyxique proprement dit n'intervient pas.

Ces intoxications larvées réalisent surtout des états d'anémie.

Ce sont les formes aiguës de l'intoxication oxycarbonée que l'on observe en pratique de guerre.

1°) *Asphyxie massive (ou suraiguë)*

Elle est produite par un dégagement énorme d'oxyde de carbone dans un temps très court, tel qu'à la suite d'une rupture de gazomètre, d'une explosion.

La mort survient de façon foudroyante, sans douleur et sans lutte : quelques inspirations suffisent à fixer sur l'hémoglobine une quantité d'oxyde de carbone supérieure à celle nécessaire pour provoquer la mort.

On retrouve des cadavres à aspect de vivants, figés dans l'attitude où les a surpris l'invasion d'oxyde de carbone.

2°) *Asphyxie graduelle ou aiguë*

Première phase. — Céphalalgie, constriction pénible des tempes, vertiges, diminution de l'acuité visuelle et des perceptions auditives, tendance au sommeil.

Les facultés intellectuelles sont intactes, il existe une possibilité de mouvements musculaires susceptibles d'assurer le salut par l'arrivée à l'air libre, l'ouverture d'une fenêtre.

Deuxième phase. — Mais souvent l'individu, se réveillant au cours de la nuit, a l'impression que quelque chose d'anormal survient, la gêne respiratoire l'incite à se lever, à tenter d'ouvrir une fenêtre, effort qui demande un surcroît d'oxygène à l'organisme ; l'individu fait une aspiration plus forte, il absorbe une quantité plus élevée d'oxyde de carbone et il tombe sans connaissance.

Ou bien encore, souvent rapidement se manifeste une impotence musculaire, surtout précoce aux membres inférieurs, et le salut est impossible. Au début, l'oxyde de carbone agissant par le besoin d'oxygène qu'il engendre, provoque une accélération de la respiration, une augmentation du volume d'air inspiré par unité de temps, favorisant ainsi la pénétration de l'oxyde de carbone dans le sang et surtout entraînant une quantité exagérée d'acide carbonique qui a pour effet d'abaisser le rapport $\frac{H^2CO^3}{NaHCO^3}$ et de provoquer de l'acapnie.

Puis rapidement la respiration se ralentit, devient superficielle, irrégulière, avec apparition parfois d'un rythme de Cheyne-Stokes.

Aux troubles respiratoires viennent s'ajouter les manifestations circulatoires propres à l'acapnie : la circulation manifeste sa souffrance par une augmentation de fréquence des battements cardiaques, la chute de la pression sanguine, le ralentissement du flot veineux de retour, la perte du tonus vasomoteur qui joue un rôle considérable dans le maintien d'une circulation appropriée aux différents besoins de l'organisme.

La perte de connaissance survient ; souvent se produisent des émissions involontaires d'urines ou de matières fécales, des vomissements même parfois, faisant penser à un empoisonnement par toxiques, des secousses musculaires aussi peuvent se produire. Puis le coma est de plus en plus profond ; il y a arrêt respiratoire cardiaque et la mort survient sans agonie.

Rappel à la vie. — Séquelles

Lorsque le coma précédant la mort se prolonge, si l'on arrive à temps ou si l'air est renouvelé, la guérison peut survenir soit immédiatement, soit après une perte de connaissance plus ou moins longue ; la torpeur diminue, la respiration réapparaît progressivement sans devenir rapide, le nombre des pulsations reste élevé. Les mouvements

réapparaissent, mais la faiblesse musculaire subsiste un certain temps ainsi que la céphalée et la tendance aux vertiges. On peut observer de légères crises convulsives témoignant d'une excitabilité exagérée de l'écorce cérébrale.

Le plus souvent, les symptômes anormaux disparaissent rapidement et il ne subsiste aucune séquelle. C'est ainsi que Nicloux publie l'observation d'un ouvrier trouvé inanimé dans une tranchée où du gaz d'éclairage s'était accumulé. Rappelé à la vie après vingt minutes de respiration artificielle et inhalation d'oxygène, on le trouva levé l'après-midi même et jouant aux cartes avec d'autres malades.

Balthazard rapporte le cas suivant : 3 jeunes femmes se couchent dans une pièce chauffée par un poêle défectueux : 2 sont trouvées mortes et l'autopsie apporte la preuve du décès par l'oxyde de carbone. Mais par suite d'un tirage s'étant établi pendant la nuit, la troisième, qui avait cependant dû subir une asphyxie très avancée, se réveille le matin sans s'être aperçue de rien et ne se plaint d'aucun malaise.

Cependant, il n'en est pas toujours ainsi : la durée de l'amnésie peut être beaucoup plus considérable et on observe parfois la conservation d'un état un peu particulier avec hébétude, difficulté d'association des idées, donnant une impression d'ivresse, défaut d'équilibre et, au cours d'un interrogatoire, l'hypothèse d'un crime peut être retenue et aboutir à des erreurs judiciaires.

On peut observer pendant plusieurs jours, plusieurs semaines même, une impotence fonctionnelle des membres inférieurs par suite de production d'infarctus dans les centres nerveux et dans les gros vaisseaux à la racine des membres ; des paralysies et même des troubles trophiques pouvant aller jusqu'à la gangrène des extrémités, sont susceptibles d'être rencontrés.

Il arrive également que l'individu reste plusieurs jours dans le coma et que, même après une certaine régression, la mort survienne par complications pulmonaires : par suite du ralentissement extrême de la circulation au cours de l'asphyxie, des infarctus pulmonaires se constituent et les phénomènes réactionnels autour de ces foyers d'infarctus se traduisent par de la congestion et de l'œdème pulmonaire entraînant la mort.

Toutes les autres séquelles sont d'ordre névropathique : astasie, abasie chez les sujets émotifs, troubles du caractère, etc...

Et quand la responsabilité d'un tiers rentre en jeu, il existe parfois une tendance à attribuer à l'asphyxie tous les malaises ultérieurs, véritable sinistrose au sujet de laquelle le rôle de l'expert intervient.

3° *Forme atténuée*, répondant à des concentrations plus faibles en oxyde de carbone et dans laquelle on note simplement une phase d'excitation avec état vertigineux, titubation, loquacité, réalisant une véritable *ivresse oxycarbonée*, à laquelle peut succéder un sommeil profond suivi d'amnésie.

Résistance individuelle

Signalons que parfois on a pu constater au cours d'accidents multiples dans une même pièce, la présence d'individus morts alors que d'autres survivaient et l'on a parlé de résistance individuelle, tous les individus semblant avoir respiré la même quantité d'oxyde de carbone.

Au sujet de la question de la résistance individuelle, Balthazard et Piédelièvre ont trouvé sur les cadavres une même proportion d'oxyde de carbone dans le sang et des expériences effectuées sur des animaux leur ont montré que le fait de placer ceux-ci au préalable, dans un état de moindre résistance par des somnifères et des anesthésiques, n'apportait aucune modification.

ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Dans le cas d'une asphyxie mortelle due à l'oxyde de carbone, la peau, les lèvres gardent une coloration rosée, en rapport avec l'absence de réduction post-mortem de carboxyhémoglobine. Le cadavre garde l'aspect qu'il avait pendant la vie. A l'autopsie « tout est rose » même coloration rosée des muscles, des viscères, notamment de l'intestin grêle, des méninges.

Le sang oxycarboné est rouge cerise, même dans les veines.

TOXICOLOGIE

Le diagnostic médico-légal peut user, pour la mise en évidence d'oxyde de carbone dans le sang d'un individu, de deux procédés, l'un physique, la recherche spectroscopique et l'hémospectromètre de Balthazard; le second, chimique : la méthode de Nicloux.

Nous ne nous y arrêterons pas.

THERAPEUTIQUE

1° *Prophylaxie*. — Eviter l'atteinte des voies respiratoires, à l'aide d'appareils « isolants » Draeger, Fenzy : nous y reviendrons.

2° *Traitement curatif*. — Comme dans toute intoxication, il faut amener la victime à l'air libre et la *réchauffer*; donc, en premier lieu : chaleur, frictions.

Si elle n'a pas perdu entièrement connaissance, il faut éviter tout besoin superflu d'oxygène, tout travail musculaire; donc, assurer l'*immobilisation* : coucher le malade pour éviter la syncope.

En outre, si possible faire boire du café très fort et faire des injections d'huile camphrée.

Déplacer l'oxyde de carbone par un excès d'oxygène; pratiquement, on amènera celui-ci au contact du sang dans les alvéoles pulmonaires, *par inhalation d'oxygène*, au moyen d'un *masque à soupape*, type Legendre et Nicloux, séparant à chaque mouvement respiratoire les gaz expirés de l'oxygène inspiré.

Si l'individu est syncopal, il faut en outre pratiquer la *respiration artificielle* à la main (méthode Sylvester ou Schæfer) ou avec un appareil spécial (Pulmotor Draeger, appareil Jean Camus-Piketty).

Henderson et Haggard ont préconisé l'emploi, au lieu d'oxygène pur, d'un mélange de 95 parties d'oxygène pour 5 d'acide carbonique connu sous le nom de « *carbogène* ».

A côté de ce traitement essentiel de l'anoxhémie qu'est l'oxygénation, certaines thérapeutiques ont été préconisées pour lutter contre l'intoxication oxycarbonée : irradiation par rayons ultra-violets qui agit en diminuant l'affinité de l'oxyde de carbone pour l'hémoglobine; le bleu de méthylène (très discutable pour P. Genaud, *Monde Médical*, 15 Mai 1939); la transfusion sanguine.

LE DANGER OXYCARBONÉ EN TEMPS DE GUERRE

1° L'oxyde de carbone peut-il être utilisé comme moyen de lutte en temps de guerre ?

Les caractères même de l'oxyde de carbone, son insidiosité, son action brutale à dose massive, semblent militer en faveur de son emploi comme gaz de combat. Mais on s'est toujours heurté aux nombreuses difficultés techniques que rencontrent son émission et sa concentration suffisante en un point donné. Sans doute peut-on concevoir la possibilité de construire toute une canalisation susceptible de déverser brusquement un volume énorme d'oxyde de carbone, à l'instar de ce qui fut accompli au printemps de 1915 par les Allemands contre les troupes canadiennes, dans la région de l'Yser avec le gaz chlore. Mais, outre les difficultés matérielles à surmonter, l'emploi ne pourrait en être que localisé et par ailleurs le but poursuivi est largement atteint par de nombreuses substances, suffocantes, vésicantes, irritantes, toxiques généraux, qui ont fait la preuve de leur terrible efficacité et dont l'arsenal des belligérants est richement doté, sans compter celles que la chimie de guerre se préoccupe de créer.

Cependant, on pourrait envisager la possibilité de son emploi comme gaz de combat, après dissolution dans un liquide tel que l'ammoniaque dont la projection pourrait être faite par avion.

D'autre part, certains composés, notamment le fer carbonyle ou le nickel carbonyle, peuvent en se décomposant sous l'action de la chaleur libérer des quantités importantes d'oxyde de carbone.

Aussi, bien que nous ignorions les possibilités futures que l'ingéniosité humaine est capable de réaliser, l'oxyde de carbone ne semble pas susceptible d'être utilisé sur une vaste échelle et actuellement, tout au moins, les armées belligérantes ne sont pas en mesure d'y avoir recours.

2° Les causes de production d'oxyde de carbone pendant la guerre

Mais est-ce à dire que nous puissions nous désintéresser du danger oxycarboné et négliger de nous prémunir contre son action nocive ? Il n'en est malheureusement pas ainsi et nombreuses en furent les vic-

times dans le passé, puisque aussi bien les sources d'oxyde de carbone sont multiples au cours des combats. Tous les explosifs, en effet, poudre noire ou sans fumée, dynamite, explosifs nitrés surtout donnent en déflagrant des quantités énormes d'oxyde de carbone ; c'est ainsi que la tolite (trinitrotoluène) l'un des plus utilisés, produit 600 litres d'oxyde de carbone par kilogramme d'explosif !

Constamment le combattant est exposé à son action nocive : dans un abri, dans une casemate, une mitrailleuse tirant à la cadence de 200 coups, dégage 60 litres d'oxyde de carbone par les orifices autres que le canon, situés par conséquent à l'intérieur de l'espace clos.

Un projectile de 150 contient une dizaine de kilogrammes d'explosif dégageant par suite 6 mc d'oxyde de carbone. On conçoit le danger présenté par le cratère qui vient d'être formé par l'explosion d'un obus au moment où les combattants se précipitent pour l'occuper. Les occupants des tanks de combat, de tourelles blindées, d'avions de chasse à carlingue réduite, sont aussi particulièrement menacés.

En outre, le gaz produit par l'explosion d'une mine, d'un obus de gros calibre, peut diffuser très loin à travers le sol disloqué et fissuré par suite de l'ébranlement provoqué par la détonation de l'explosif et venir asphyxier les occupants d'une sape, d'un abri ; on connaît, au cours de la guerre 1914-1918, le cas d'un poste de commandement allemand où tous les occupants furent surpris en pleine quiétude et chez lesquels la mort survint de façon quasi-instantanée, les immobilisant dans la position même qu'ils occupaient : l'un d'eux fut retrouvé tenant encore en main la pièce qu'il se proposait de déplacer sur un échiquier.

La guerre de « sapes » fit aussi de nombreuses victimes parmi les belligérants au moment de l'explosion, mais encore plus parmi les combattants occupés à creuser les galeries souterraines, crevant brusquement d'un coup de pioche une poche où s'étaient accumulés les gaz, particulièrement riches en oxyde de carbone, provenant de la déflagration antérieure d'une charge insuffisante d'explosif.

Mais la population civile n'est pas davantage à l'abri contre l'attaque sournoise de l'oxyde de carbone, puisque aussi bien, avons-nous vu, l'explosion de gros projectiles s'accompagne d'une quantité impressionnante de ce gaz.

C'est pourquoi on s'est efforcé de prémunir ceux qui sont particulièrement menacés contre l'action nocive de l'oxyde de carbone.

3° Moyens de protection

Pour nombreuses que se poursuivent les recherches, assez décevants, il faut bien le dire, sont encore les résultats.

I. — Protection individuelle

On peut réaliser la protection individuelle contre les atmosphères toxiques, soit par l'épuration et la filtration de celles-ci (appareils filtrants), soit en faisant respirer aux individus une atmosphère spéciale, isolée de l'atmosphère ambiante dangereuse et renouvelée par des appareils appropriés.

a) *Appareils filtrants*. — Ce sont les « masques à gaz » qui jouent un rôle actif de protection contre les gaz de combat employés ou connus actuellement, sauf malheureusement l'oxyde de carbone. La plupart d'entre eux sont équipés uniquement avec des cartouches à charbon particulièrement actifs. C'est une filtration physique, dans laquelle interviennent des phénomènes d'adsorption.

Les plus connus parmi ces masques sont :

— L'appareil respiratoire spécial A.R.S. (qui renferme en outre des granulés « Z » et « N », agents absorbants à réaction alcaline) ;

— l'appareil normal de protection modèle 1931 ;

— l'appareil Tissot petit modèle PM ;

— l'appareil Tissot grand modèle GM.

Ce sont ces différents appareils qui sont mis à la disposition des combattants et que l'on tend à répandre de plus en plus dans le public, en prévision d'une attaque brusquée.

Malheureusement, avons-nous dit, son *efficacité est nulle vis-à-vis de l'oxyde de carbone*.

On construit cependant depuis plusieurs années des appareils de même type, mais dans les récipients filtrants desquels on emploie des granulés constitués de mélanges d'oxydes, dont le prototype est l'hopcalite, qui comporte environ 60 % de bioxyde de manganèse et 40 % d'oxyde de cuivre, amenés à un état extrêmement divisé, voire colloïdal. Grâce à leur pouvoir oxydant remarquable, ces granulés catalysent la formation d'oxyde de carbone en acide carbonique, inoffensif dans les conditions pratiques, et cela même pour les basses températures, 0° et au-dessous, et pour des concentrations en oxyde de

carbone très élevées, 1 % en volume et plus. Mais ils comportent le grave inconvénient d'exiger l'absorption préalable de toute humidité de l'air, au moyen de granulés desséchants, placés en amont dans le circuit filtrant, l'humidité, même à très faible dose, constituant en effet un véritable poison de la catalyse.

Cet inconvénient qui empêche, à juste titre, la généralisation de l'emploi de tels appareils filtrants, a suscité de nombreuses recherches. Jusqu'à présent, celles-ci ne semblent pas être couronnées de succès et notamment les différents appareils qui ont été soumis pour expérimentation au Laboratoire d'Hygiène n'ont pas donné satisfaction.

b) *Appareils isolants.* — Ces appareils sont particulièrement efficaces vis-à-vis de l'oxyde de carbone, mais leur usage est limité à des cas spéciaux : ce sont des producteurs d'oxygène. Ils sont de deux sortes : les appareils à circuit ouvert et les appareils à circuit fermé.

Les premiers ne récupèrent pas l'air ou l'oxygène qui parvient aux poumons, alors que les seconds assurent cette récupération. Les premiers sont tributaires d'une source d'air ou d'oxygène dont ils ne peuvent s'éloigner, les seconds ne dépendent que de la régularité de leur fonctionnement.

Tous les appareils isolants doivent être complétés par des lunettes étanches, chaque fois qu'on peut craindre la présence de gaz autres que l'oxyde de carbone.

Les plus utilisés sont : l'appareil respiratoire Draeger et l'appareil respiratoire M.C.G. de longue durée, dit appareil de Fenzy grand modèle, dans lesquels l'oxygène est fourni par un obus à oxygène de 0 l. 300 sous la pression de 150 kilos.

Dans l'appareil respiratoire M.C.G. de courte durée, dit appareil Fenzy petit modèle, les organes producteurs d'oxygène sont : 1 cartouche d'oxylithe (peroxyde de sodium ou de potassium) et 2 tubes en acier, dits capsules Sparklet, contenant chacun 10 cmc. d'oxygène comprimé à 100 kilos, soit environ 1 litre mesuré à la pression atmosphérique. Ce dernier est plus spécialement réservé aux sapeurs-mineurs.

Les appareils isolants sont réservés aux opérations de sauvetage, au travail en galeries de mine ou dans les services infectés, service de mitrailleuse dans une casemate non ventilée.

Notons que l'emploi de générateurs à oxygène utilisant l'« oxygénite » (mélange de perchlorate de soude, de charbon et d'oxyde de fer ou de manganèse) est proscrit, l'oxygène produit contenant des substances qui peuvent rendre l'atmosphère dangereuse.

2° Protection collective

Nous serons très brefs en ce qui concerne la protection collective contre les gaz de combat en général.

Elle comprend :

a) *L'installation de signaux d'alerte* (signaux acoustiques et signaux optiques, tels que fusées pour les armées en campagne, sirènes pour les populations civiles).

b) *L'organisation des abris*. — Sans entrer dans le détail de l'organisation de la protection individuelle de la population civile, nous nous bornerons à énumérer les différentes mesures envisagées : création d'abris profonds, évacuation de la population civile « passive » en ne conservant que les corps « actifs » participant à la défense, à la désinfection et à la vie sociale indispensable ; mise à la disposition de masques à gaz.

Ces mesures sortent un peu de notre cadre et nous nous limiterons à celles relatives à la protection contre l'oxyde de carbone.

Elles ont été envisagées par l'autorité militaire et réunies dans l'« Instruction technique sur la protection contre les gaz de combat » à laquelle nous empruntons ce qui suit :

326. — La présence de l'oxyde de carbone peut être révélée au moyen du détecteur L.D. Celui-ci se compose d'un petit flacon dont le bouchon en liège est traversé par un tube de verre. Ce tube porte, à l'extérieur du flacon, une poire en caoutchouc ; le bouchon est muni d'une rainure latérale permettant le passage de l'air, et d'un crochet auquel on adapte une bande de papier réactif (1), dont un approvisionnement est conservé, à l'abri de l'humidité, dans un flacon bouché.

(1) Le réactif utilisé est vraisemblablement du chlorure de palladium. Sans mettre en doute l'efficacité de cet appareil, nous sommes sceptiques quant à son utilisation par les corps de troupe et nous craignons fort qu'on s'exagère les services qu'il serait susceptible de rendre.

A la partie supérieure d'une bande de papier réactif, faire un petit trou à l'aide d'une épingle ou d'un canif. Tremper le papier dans l'eau propre; le retirer rapidement et éliminer l'eau en excès en agitant, ou mieux en pressant légèrement le ruban entre deux feuilles de papier buvard.

Retirer le bouchon de l'appareil pour suspendre le papier par son trou au crochet du bouchon, puis reboucher.

Se protéger avec un appareil isolant avant de pénétrer dans l'atmosphère suspecte. Placer le flacon dans cette atmosphère; presser la poire une vingtaine de fois (avoir soin de ne pas obturer l'orifice de prise d'air) de façon à remplacer l'air contenu dans le flacon par de l'air extérieur.

Examiner ensuite le flacon hors de l'atmosphère suspecte. Pour une dose d'oxyde de carbone de $1/3.000$ à $1/1.000$, la réaction est d'autant plus rapide et la teinte d'autant plus accentuée que la dose d'oxyde de carbone est plus forte.

Pour chaque recherche, employer une nouvelle bande de papier.

Outre la reconnaissance des atmosphères suspectes pour laquelle on opère comme il vient d'être dit, le détecteur peut servir également aux occupants d'un local ou aux travailleurs d'une galerie pour s'assurer que l'atmosphère dans laquelle ils vivent n'est pas viciée par l'oxyde de carbone.

On peut aussi déceler l'oxyde de carbone en utilisant des petits oiseaux qui tombent morts dans une atmosphère contenant une dose d'oxyde de carbone qui n'est pas encore dangereuse pour l'homme.

La manifestation des premiers symptômes d'intoxication oxycarbonée (maux de tête, vertiges, fatigue, etc...) chez tous les occupants d'un abri doit être considérée comme un indice suffisant de la présence de l'oxyde de carbone.

327. — Lorsque la présence de l'oxyde de carbone dans un abri est soupçonnée ou décelée, la première chose à faire est d'évacuer l'abri et de n'y laisser pénétrer que les hommes munis d'un appareil isolant.

Assurer ensuite la ventilation de l'abri, soit en allumant des feux, soit par aspiration à l'aide de ventilateurs. Un simple dégagement d'oxygène serait inefficace.

L'assainissement par le feu ne s'applique pas aux galeries de mines.

328. — Les opérations de sauvetage ne sont faites que par des hommes munis d'un appareil isolant. Elles doivent être conduites par équipes de 2 hommes au moins ; en cas de besoin, un des sauveteurs doit pouvoir porter secours à l'autre.

Le matériel destiné à donner les premiers soins aux intoxiqués est fourni par le service de santé.

329. — Pour éviter les accidents dans les abris de mitrailleuses, chercher autant que possible à installer celles-ci à l'air libre.

Lorsqu'il est nécessaire de recourir aux abris, assurer une ventilation énergique en maintenant un courant d'air permanent entre le créneau de tir et la porte.

Diminuer le dégagement d'oxyde de carbone en rapprochant autant que possible l'axe de pivotement de la paroi de l'abri, de manière que l'orifice d'échappement des gaz se trouve franchement hors de l'abri ; ce résultat pourra être obtenu en pratiquant dans la paroi, au-dessous du créneau, un logement pour les pieds antérieurs du trépied, ou en montant la mitrailleuse sur un affût de circonstance approprié.

Dans le cas où ces conditions ne seraient pas réalisables et si les mitrailleuses ne sont pas pourvues d'un dispositif assurant l'évacuation des gaz de la poudre, munir les mitrailleurs d'appareils isolants.

CONCLUSIONS

1° L'oxyde de carbone est un gaz incolore, inodore, de densité très légèrement inférieure à celle de l'air, susceptible par suite de se diffuser rapidement dans l'atmosphère et de façon sensiblement homogène.

2° Ce n'est pas un gaz toxique à proprement parler, mais un gaz asphyxiant. Il agit par un mécanisme d'anoxhémie : c'est par sa fixation sur l'hémoglobine, dont il supprime la fonction de vecteur d'oxygène, qu'il détermine la mort.

3° La mort survient au bout de 2 heures environ dans une atmosphère contenant 1/500 d'oxyde de carbone : *teneur asphyxique*.

La teneur de 1/5.000 — *teneur d'alarme* — coïncide avec l'apparition de troubles graves et justifie la nécessité de prendre des mesures d'urgence.

Au-dessous de la teneur de 1/100.000 — *teneur limite* — la présence de l'oxyde de carbone apparaît encore non susceptible de retenir l'attention.

4° Les caractères même de l'oxyde de carbone, son insidiosité, son action brutale à dose massive, militent en faveur de son emploi comme gaz de combat en temps de guerre.

5° Les « masques à gaz » — appareils « filtrants » — utilisés comme appareils de protection contre les gaz de combat employés ou connus actuellement, sont *sans effet* contre l'oxyde de carbone.

On a recours pour s'en protéger à des *appareils « isolants »* à circuit ouvert ou à circuit fermé, *producteurs d'oxygène*, dont les plus utilisés sont l'appareil respiratoire Draeger, les appareils respiratoires M.C.G., dits appareils Fenzy, de longue ou de courte durée.

6° Actuellement, l'emploi de l'oxyde de carbone par les belligérants, sur une grande échelle, comme gaz de combat, n'apparaît pas réalisable : ce n'est que d'une façon locale, accidentelle, sporadique que le danger oxycarboné peut se produire et il ne saurait justifier des appréhensions exagérées.

BIBLIOGRAPHIE

- BALTHAZARD. — Précis de Médecine légale, 1935.
- Rapport au III^e Congrès de Médecine légale. Bulletin de la Soc. de Méd. légale de France, 1913, 2^e série, t. X, p. 122-184.
- BALTHAZARD et NICLOUX. — Coefficient d'empoisonnement dans l'intoxication mortelle oxycarbonique chez l'homme. (C.A. Ac. Sc., 1911, t. CLII, p. 1787.)
- Technique de la détermination du coefficient d'empoisonnement dans l'intoxication oxycarbonique. (La pratique médico-légale, 1914, t. I, p. 160.)
- BOUYSSY. — Le danger oxycarboné en temps de paix, en temps de guerre. (Thèse Paris 1938. Médaille d'argent. Prix Rigout.)
- BROUARDEL. — Les asphyxies par les gaz et par les vapeurs, 1896, Baillière.
- Claude BERNARD. — Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses, 1857, p. 172.
- DAUTREBANDE. — Les gaz toxiques, 1933.
- DESOILLE. — Les troubles nerveux dus aux asphyxies aiguës et plus spécialement à l'asphyxie oxycarbonée. Thèse, Paris 1932.
- FLORENTIN et WANDERBERGHE. — Sur le dosage des faibles quantités de CO dans l'air et les gaz de fumée. (Bull. Soc. Chim., 1921, t. XXIX, p. 316.)
- GREHANT. — Détermination quantitative de CO combiné avec l'hémoglobine, mode d'élimination de CO. (C.R. Ac. Sc. 1873, t. LXXXVI, p. 233.)
- Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire : les gaz du sang, p. 151 ; CO, p. 132.
- Nouvelles recherches sur l'élimination de CO après un empoisonnement partiel. (C.A. Ac. Sc., 1886, t. CII, p. 825 et Soc. Biologie, 1886, t. XXXVIII, p. 166 et 182.)
- GROSPERRIN. — Les manifestations hypertoniques consécutives à l'asphyxie oxycarbonée aiguë. Thèse Paris 1931.
- HALDANE. — The relation of the action of carbonoxyde to oxygen tension. Journal of physiology, 1895, t. XVIII, p. 201.
- HARTRIDGE. — Journal of physiology, 1912, t. XLV, p. 170.
- HEIM DE BALSAC. — Oxycarbonisme professionnel. (Hygiène et Industrie, 1934, p. 37.)
- HEIM, AGASSE-LAFONT et FEIL. — Sur une cause nouvelle d'intoxication oxycarbonée souvent professionnelle. (Progrès médical, avril 1927.)
- HENDERSON. — Journal of Ind. Hyg., t. III, p. 79, 137.
- HENDERSON et HAGGARD. — The elimination of carbon monoxyde from the blood after a dangerous degree of asphyxiation and atherapy for accelerating the elimination. (Journal of pharmacology and Experimental Therapeutico, 1920, t. XVI, p. 11-20.)

- HUFNER et KULTZ. — Untersuchungen zur physikalischen Chemie des Blutes. (Journal für praktische Chemie, 1883, t. XXVIII, p. 256-269.)
- KLING. — La protection contre CO, des occupants d'abris souterrains aménagés en vue de la défense passive. (Bulletin Académie Médecine, 22 décembre 1936.)
- KOHN-ABREST. — Annales de Chimie organique, 1908.
- Appareil pour l'analyse rapide de l'air confiné et des atmosphères insalubres. (C.R. Ac. Sc., 1919, t. CLVIII, p. 1019.)
 - Indice de toxicité et l'utilisation de l'essence dans les automobiles. C.R. Ac. Sc., 1922, t. CLXXIV, p. 1146 et Chimie et Industrie, 1925.)
 - Les combustibles, CO et l'hygiène. (Bulletin des hygiénistes municipaux, 1921, Chimie et Industrie, 1922, t. VII, n° 3 et Traité de Chimie toxicologique, 1924.)
- LANGELEZ. — Nouvelle méthode de lutte contre l'empoisonnement par CO. (Bruxelles Médical, 21 février 1937.)
- LEROUX (Lucien). — La guerre chimique, 1932.
- MAURIN et KLING. — Rapport présenté au nom de la Commission d'étude contre la pollution de l'air, au Conseil d'Hygiène publique et de Salubrité du Département de la Seine, le 17 décembre 1937.
- MINISTÈRE DE LA GUERRE. — Instruction technique sur la protection contre les gaz de combat, 1934.
- MOYNIER. — Les gaz de combat, étude clinique des lésions dues aux gaz toxiques, thérapeutique des intoxications. (Paris Médical, 30 mars 1935.)
- NICLOUX. — Dosage de CO contenu dans l'air à l'état de traces. (C.R. Ac. Sc., 1898, t. CXXVI, p. 746.)
- Sur CO du sang. (C.R. Soc. Biol., 1901, t. CXXXII, p. 1501.)
 - Sur le dosage de CO dans l'air. (C.R. Ac. Sc., 1912, t. CLIV, p. 1136 et Bull. Soc. Chimique de France, 1923, t. XXXIII, p. 818.)
 - Les lois d'absorption de CO par le sang in vitro et in vivo. (Journal de physiologie et de pathologie, 1919, t. XVI, p. 145-155 et 164-177.)
 - CO et l'intoxication oxycarbonique. (1925, Masson, édit.)
- OGIER et KOHN-ABREST. — Traité de Chimie toxicologique, 1924.
- RENAUT. — Les bases de la protection contre les gaz de combat. (Paris Médical, 13 avril 1935.)
- TANON. — Intoxication par les gaz du moteur dans quelques voitures sanitaires. (Soc. Médico-Chirurgicale de la V^e Armée, 18 novembre 1916 et Presse Médicale, 1917, t. XXV, p. 23.)
- TANON, CAZENEUVE et NEVEU. — Sur une cause fréquente d'accidents professionnels dans l'automobilisme ; intoxication bulbaire par le carburant, essence et alcool. (Bulletin de l'Ac. Médecine, t. CVIII, p. 1674.)
- WEIGERT. — L'intoxication oxycarbonée chronique. (Thèse de Lyon, 1934.)

